



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

HYDRAULIIKKAPROTOTYYPIN TUTKIMINEN

TEKIJÄ/T: Eero Ukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Eero Ukkonen	
Työn nimi Hydrauliikkaprototyypin Tutkiminen	
Päiväys 21.4.2014	Sivumäärä/Liitteet 27/3
Ohjaaja(t) Yliopettaja Risto Rönkä ja lehtori Anssi Suhonen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) S-two GmbH & Co. KG	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja kehitettiin S-two GmbH & Co. KG:n uuden minipowerpack:n prototyyppiä. Yrityksellä ei itsellään ollut prototyypin tutkimuksiin tarvittavia resursseja ja osaamista, joten tutkiminen tehtiin opinnäytetyönä.</p> <p>S-Two GmbH kehittää omaa, itsenäisesti toimivaa minipowerpack mallia, jolla voidaan korvata keskitetty hydrauliikan voimantuottoyksikkö. Laivanrakennusteollisuudessa venttiilien toimilaitteiden osalta trendi on menossa kohti hajautettua voimantuottoa keskitetyn voimantuoton sijasta. Tutkimukset suoritettiin yksinkertaisesti ja tarkasti. Mitattavia asioita olivat prototyypin tuottaman kiertoliikkeen nopeus, väännön suuruus ja tasaisuus. Mittausvälineinä käytettiin sekuntikelloa, momenttiavainta, painemittareita ja -anturia sekä venymäliuskoja. Väännön epätasaisuuden vuoksi tutustuttiin myös hammaspyörien mittaamiseen. Mekaniikkasuunnittelussa käytettiin Solidworks 3D -suunnitteluohjelmaa ja ANSYS Workbench -ohjelmaa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena saatiin varmuus kehitetyn prototyypin toiminnasta ja voitiin jatkaa sen kehittämistä valmistettavissa olevaksi tuotteeksi. Toiminnan varmuus saatiin perusteltua tehdyillä mittauksilla. Tehtyjen mittausten perusteella varmistettiin laitteessa käytetyt sähkömoottori ja hydraulipumppu käyttötarkoitukseen soveltuviksi. Aikaiseksi saatiin myös prototyypin tuottamaa vääntöä testaava laitteisto, jota voidaan käyttää tulevaisuudessakin. Lisäksi saatiin valmistuspiirustus moottorin kehikosta ja parannuksia muihin osiin.</p>	
Avainsanat hydrauliikka, prototyyppi, tutkiminen, laiva	
julkinen	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Eero Ukkonen			
Title of Thesis Research on a Hydraulic Prototype			
Date	April 21, 2014	Pages/Appendices	27/3
Supervisor(s) Mr Risto Rönkä, Principal Lecturer and Mr Anssi Suhonen, Senior Lecturer			
Client Organisation /Partners S-two GmbH & Co. KG			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this final year project was to research and develop the prototype of a minipowerpack made by S-two GmbH & Co. KG. The company did not have the required know-how to research and measure the prototype and therefore the work was commissioned.</p> <p>S-two GmbH & Co. KG is developing its own independently functioning minipowerpack which is able to replace a centralized hydraulic power unit. The trend of actuators of valves in shipbuilding industry is changing from centralized power units to decentralized power units. In this project the research was done simply and accurately. The measurements were done using a stopwatch, a torque wrench, pressure meters, a pressure sensor and strain gauges. Solidworks 3D CAD engineering software and ANSYS Work-bench software were used as tools for mechanical design.</p> <p>As a result of this project it was proved that the prototype functions well. The prototype can be further developed to a manufacturable product. The reliability of functionality was gained by measuring the speed, magnitude and smoothness of torque produced by the prototype. Because the torque is uneven it was necessary to learn how to measure gears. It was verified by measurements that the electric motor and hydraulic pump used are applicable for the minipowerpack. As a result the work produced a strain gauge measuring system which can be used for measuring the torque produced by a minipowerpack. The manufacturing drawings of the motor housing and improvements to other parts were also made.</p>			
Keywords hydraulic, prototype, research, ship			
public			

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö on tehty Kuopiossa Savonia AMK:n tiloissa S-two GmbH & Co. KG:lle. Haluan kiittää opinnäytetyöni ohjaajia yliopettaja Risto Rönkää ja lehtori Anssi Suhosta sekä kaikkia Savonian työntekijöitä, jotka ovat auttaneet minua työni toteuttamisessa. Kiitoksensa ansaitsevat myös opinnäytetyön tilaajat Carla Wehmeier ja Hans Wehmeier, jotka luottivat osaamiseeni tässä tärkeässä ja mielenkiintoisessa tutkimuksessa. Lopuksi haluan kiittää myös kaikkia läheisiäni, jotka ovat tukeneet minua tämän opinnäytetyön tekemisessä.

Kuopiossa 21.4.2014

Eero Ukkonen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
2	S-TWO GMBH & CO. KG	8
3	HYDRAULIIKKA	9
4	MINIPOWERPACK	10
4.1	Prototyyppi	10
4.2	Toimintaperiaate	10
4.3	Tilansäästö ja siisteys	11
4.4	Käyttöolosuhteet	11
5	PROTOTYYPIN FYYSINEN TUTKIMINEN	12
5.1	Prototyypin testaaminen	12
5.2	Prototyypin purkaminen ja tutkiminen	12
5.3	Porauksien samankeskeisyyden tutkiminen	12
6	MITTAUKSET JA LASKELMAT	13
6.1	Kiertonopeuden mittaaminen	13
6.2	Väännön mittaaminen momenttiavaimella	14
6.3	Väännön mittaaminen venymäliuskoilla	15
6.3.1	Venymäliuska-anturit	15
6.3.2	Venymäliuskamittauksen valmistelu	16
6.3.3	Väännön mittaaminen	17
6.3.4	Venymäliuskamittauksen tulokset	19
6.4	Hammastus	21
6.5	Hydrauliikkalaskelmat	23
7	PROTOTYYPIN KEHITTÄMINEN	25
7.1	Keskilohko	25
7.2	Moottorin kehikko	25
8	JATKOSUUNNITELMAT	26
9	YHTEENVETO	27
	LÄHTEET	28
	LIITE 1: MITTAUKSET AVAUTUMISSUUNTAAN VÄÄNNETTÄESSÄ	29
	LIITE 2: MITTAUKSET SULKEUTUMISSUUNTAAN VÄÄNNETTÄESSÄ	30

LIITE 3: MOLEMPIEN SUUNTIEN MITTAUSTILANTEET.....	31
---	----

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyö on tehty Savonia-ammattikorkeakoulussa ja sen on tilannut S-two GmbH & Co. S-Two GmbH kehittää omaa, itsenäisesti toimivaa minipowerpack mallia, jolla voidaan korvata keskitetty hydraulikan voimantuottoyksikkö. Laivanrakennusteollisuudessa venttiilien toimilaitteiden osalta trendi on menossa kohti hajautettua voimantuottoa keskitetyn voimantuoton sijaan. Minipowerpackistä on tehty jo prototyyppi, joka ei kuitenkaan ole vielä tuotantovalmis.

Tässä työssä tutustutaan prototyypin toimintaperiaatteeseen, etsitään siinä olevia vikoja joko piirustuksista tai valmistuksessa ilmenneistä syistä ja tarvittavilla mittauksilla varmistetaan sen toimivuus. Prototyypin toimivuuden varmistamiseksi täytyy myös tutustua prototyypin käyttämään toimilaitteeseen. Lisäksi prototyypistä tulee tehdä esteettisemmän näköinen ja suunnitella se Pohjois-Savossa valmistettavaksi. Parannetuista osista tehdään ajan salliessa 3D-mallit ja valmistuspiirustukset. Mittattavia asioita ovat prototyypin tuottama toimilaitteen kiertonopeus ja tuotetun paineen suhde saatuu vääntöön. Opinnäytetyöstä on tehty salassapitosopimus, joten prototyypin toimintaperiaatetta ja siihen tehtyjä muutoksia käsitellään tässä raportissa vain pintapuolisesti.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on saada S-two:lle nykyisiin järjestelmiin sopiva oma tuote ja samalla kehittää pohjoissavolaista yrittäjyyttä ulkomaanmarkkinoille. Työ tehdään Savonian hydraulikalaboratoriossa.

2 S-TWO GMBH & CO. KG

S-two GmbH & Co. KG on Saksan Lagessa sijaitseva keskisuuri yritys. Yhtiö on perustettu vuonna 2004, ja se on erikoistunut laivojen ohjausjärjestelmien kehitykseen ja valmistukseen. Vuonna 2006 S-two yhdistyi Cramer-hydraulikin kanssa, ja yhdessä niillä on yli 30 vuoden kokemuksen laivanrakennusalalta. Yrityksessä työskentelee maailmanlaajuisesti 25 työntekijää, ja sillä on tytäryhtiö Kiinassa sekä toimisto Intiassa. (S-two GmbH & Co. KG 2014a; S-two GmbH & Co. KG 2014b; Wehmeier 2014-04-06.)

S-two:n älykkäitä ohjausjärjestelmiä käytetään moniin eri käyttökohteisiin, kuten painovesisäiliöiden säätämiseen, laivan polttoainevaraston liikuttamiseen ja pilssiveden pumppaamiseen. S-two:n keskeisin tuote on Poseidon-järjestelmä, jota käytetään ohjaamaan useita venttiileitä tietokoneen avulla. Poseidon on järjestelmä, joka voidaan kustomoida vastaamaan erilaisten laivojen, kuten öljy-, kemikaali- ja kaasutankkereiden sekä luksuslaivojen tarpeisiin. (S-two GmbH & Co. KG 2014a.)

3 HYDRAULIIKKA

Hydrauliikka tarkoittaa tehonsiirtoa nesteen avulla. Teho siirtyy nesteessä paineena ja tilavuusvirtana. Hydrauliikan avulla voidaan siirtää suurempia tehoja pienemmässä tilassa kuin muilla tehonsiirron muodoilla. Hydrauliikka voidaan jakaa hydrostaattisiin ja hydrodynaamisiin järjestelmiin. Hydrostaattisissa järjestelmissä tehonsiirto järjestetään paineen avulla. Hydrodynaamisessa tehonsiirrossa energia sidotaan nesteen liike-energiaksi. Tässä työssä käytetty hydraulijärjestelmä on hydrostaattinen. (Kauranne, Kajaste ja Vilenius 2013, 1–4.)

Hydrostaattiset järjestelmät voidaan jaotella vielä kahteen ryhmään: avoimiin ja suljettuihin järjestelmiin. Avoimissa järjestelmissä on suuri nestesäiliö, josta hydrauliikkapumppu imee nesteen käyttöönsä. Neste palaa kierron jälkeen takaisin säiliöön suodattimen kautta. Näissä yleensä teollisuudessa käytettävissä järjestelmissä pumppu toimii vain yhteen suuntaan, joten järjestelmän liikesuunta täytyy ohjata venttiileillä. Kyseistä järjestelmää kutsutaan venttiiliohjatuksi järjestelmäksi. (Kauranne ym. 2013, 4–5.)

Tämän työn prototyypissä käytetään suljettua hydraulijärjestelmää. Siinä ei ole suurta nestesäiliötä, vaan pieni säiliö pumpun imupuolella, jonne neste ohjataan kierron päätteeksi. Suljetun hydrauliikkajärjestelmän vuoksi laite saadaan kompaktiin kokoon ja voidaan asentaa vapaammin kuin avoin hydrauliikkajärjestelmä. Pumppu on kaksisuuntainen, joten venttiiliohjausta ei tarvita liikesuunnan määrittämiseen. Kaksisuuntaisella pumpulla toimivaa järjestelmää kutsutaankin pumppuohjatuksi järjestelmäksi. (Kauranne ym. 2013, 5.)

Hydraulipumppu saa yleisesti energiansa joko sähkömoottorilta tai polttomoottorilta (Kauranne ym. 2013, 5). Koska minipowerpack tulee sijoittumaan laivaan, jossa on oma sähköverkostonsa, pumppua käytetään sähkömoottorilla.

4 MINIPOWERPACK

4.1 Prototyyppi

Tutkittava tuote on vasta prototyyppi eli kehitettävän tuotteen fyysinen malli, joka on kooltaan samankokoinen lopullisen tuotteen kanssa. Prototyypillä voidaan tarkoittaa myös mittakaavaan tehtyä mallia. Prototyyppejä voidaan käyttää eri tarkoituksiin, kuten tuotteen toiminnan konkreettiseen havainnollistamiseen asiakkaille. Tämän työn prototyypin tarkoitus on tuotteen toimivuuden varmistaminen mittauksilla ja testeillä sekä sen parantaminen. Prototyyppejä voi olla eri valmiusasteisia. Se voi olla lähellä lopullista tuotetta tai olla omanlaisensa laite, jolla testataan lopullisen tuotteen osia ja ominaisuuksia. (Hietikko 2008, 180–181.)

4.2 Toimintaperiaate

Minipowerpack on kompakti hydraulikkalaitteisto, joka käyttää toimilaitetta. Tässä tapauksessa toimilaitteet kääntävät laivojen venttiileitä ja ovat siten tärkeä osa laivojen toimintaa. Minipowerpack koostuu sähkömoottorista, hydraulipumpusta ja keskilohkosta, johon on integroitu nesteen ohjaukseen liittyvät komponentit. Kuvassa 1 nähdään minipowerpack, joka sijaitsee venttiilin päällä etualalla logiikkalohkon alapuolella ja kuvassa piiloon jäävän käyttölaitteen edessä. Laivan sähköverkosta virtansa saava moottori pyörittää hammaspyöräpumppua, joka saa nesteen virtaamaan keskilohkon porauksien kautta toimilaitteelle. Keskilohkossa ovat integroituina paineenrajoitusventtiilit ja suunta-venttiili. Prototyypissä on käytetty keskilohkon päällä erillistä lohkoa, joka toimii vastaventtiilinä. Tämä vastaventtiili estää laivan venttiilin liikkumisen itsestään, mikä mahdollistaa venttiilin lukitsemisen haluttuun kulmaan.



KUVA 1. Minipowerpack venttiilin päällä (Valokuva Eero Ukkonen.)

4.3 Tilansäästö ja siisteys

Käyttämällä tuotteessa omaa hydraulipumppua ja säiliötä saadaan siitä kompakti järjestelmä, jota ei tarvitse liittää isompaan systeemiin. Näin saadaan huomattavasti vähennettyä laivoissa kulkevien putkien ja letkujen määrää. Keskilohkon porauksien avulla saadaan minipowerpackistä myös täysin letkuton järjestelmä. Yksi tämän työn tehtävistä on varmistaa, että moottorin johdot saadaan kulkemaan piilossa toimilaitteelle keskilohkon sisällä. Tuotetta tullaan käyttämään laivoissa, joissa tilaa olisi suuremmillekin laitteille, joten kompaktin koon syy on kustannusperusteinen.

4.4 Käyttöolosuhteet

Laivoissa ympäristö on yleensä hyvinkin kostea ja meriveden vuoksi korrosoiva. Minipowerpackin materiaalina käytetään 5000-sarjan Al-Mg-seosta, jolla on hyvä korroosionkestävyys kloridipitoisissa ja emäksisissä olosuhteissa. 5000-sarjan seoksia kutsutaan käyttökohteensa vuoksi merialumiineiksi. (Tiilikka 2008, 170.)

5 PROTOTYYPIN FYYSINEN TUTKIMINEN

5.1 Prototyypin testaaminen

Minipowerpackin tutkimukset aloitettiin testaamalla laitteen toimintaa. Prototyyppi oli jo Saksassa todistettu toimivaksi, mutta sen tuottaman epätasaisen väännön vuoksi sitä tuli tutkia lisää. Laitetta käytettiin edestakaisin ja sen käyttäytymistä havainnoitiin silmämääräisesti ja kuuntelemalla.

5.2 Prototyypin purkaminen ja tutkiminen

Tarvittavien mittausten jälkeen prototyyppi tuli purkaa kappaleiksi yksityiskohtaista tarkastelua ja toimintaperiaatteen täydellistä selvittämistä varten. Purkaminen onnistui käyttämällä yhtä poikkeusta lukuun ottamatta normaaleita konepajan työkaluja, kuten kuusiokolo- ja kiintoavaimia. Kuusiohylyä täytyi hioa kapeammaksi, jotta sillä pystyttiin kiertämään yksi komponentti irti toisesta. Puretut kappaleet tutkittiin yksitellen ja niitä verrattiin olemassa oleviin valmistuspiirustuksiin.

5.3 Porauksien samankeskeisyyden tutkiminen

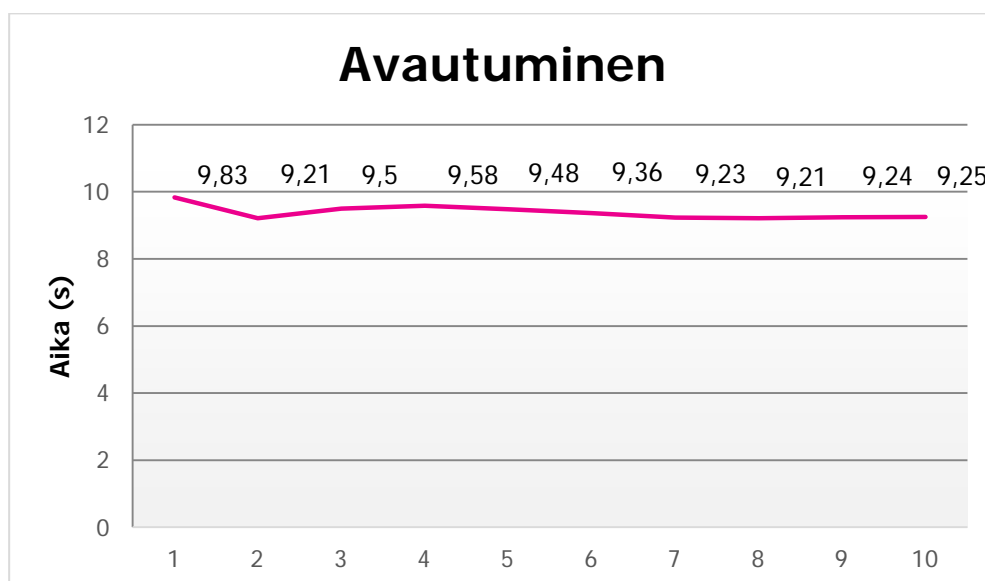
Jokaisen kappaleen porauksien halkaisijat ja sijainnit mitattiin käyttämällä työntömittaa. Mitattuja tietoja verrattiin prototyypistä olemassa oleviin piirustuksiin ja vastakappaleiden porauksiin. Huomattiin, että suurin osa porauksista oli kunnossa eikä niissä ollut vuotoriskiä. Yksi porauksista vaati sijainnin muuttamista täysin samankeskeiseksi vastakappaleen porauksen kanssa.

6 MITTAUKSET JA LASKELMAT

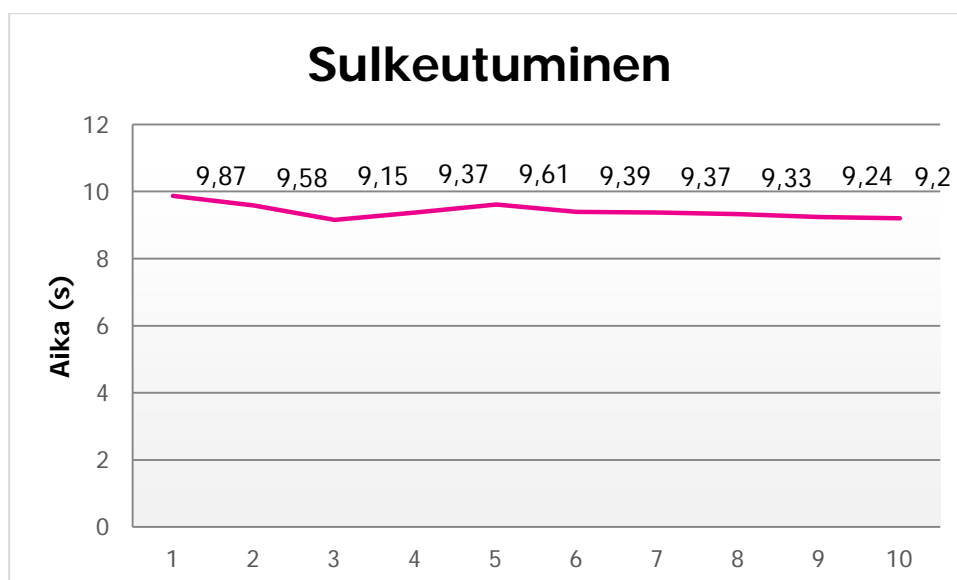
Prototyypin toimivuuden määrittämiseksi tehtiin erilaisia mittauksia. Mitattavia suureita olivat toimilaitteen kiertonopeus sekä väännön ja paineen suhde. Näistä mittauksista jälkimmäinen kertoi toimilaitteen käytön tasaisuudesta ja auttoi määrittämään mahdolliset ongelmakohdat prototyypissä. Mittausten avulla nähtiin soveltuivatko käytetyt sähkömoottori ja hydrauliiikapumppu haluttuun käyttötarkoitukseen.

6.1 Kiertonopeuden mittaaminen

Prototyypin mittaamiset aloitettiin toimilaitteen kiertonopeuden määrittämisestä. Kokeessa tehtiin kymmenen mittausta molempiin suuntiin. Käyttämällä sekuntikelloa saatiin kiertoon kuluvat ajat, joista laskettiin keskiarvot. Kokeessa käytetyt maksimipainearvot saatiin painemittareista. Maksimipaineeksi saatiin avautumissuuntaan 145 bar ja sulkeutumissuuntaan 130 bar. Mittaustulokset nähdään kuvioista 1 ja 2. Laitteen kiertokulmaksi mitattiin 104° . Avautumisnopeuden keskiarvoksi saatiin 9,39 s ja sulkeutumisnopeuden keskiarvoksi 9,41 s. Nopeudet olivat mittaustarkkuus huomioon ottaen samat.



KUVIO 1. Avautumisajan mittaukset.



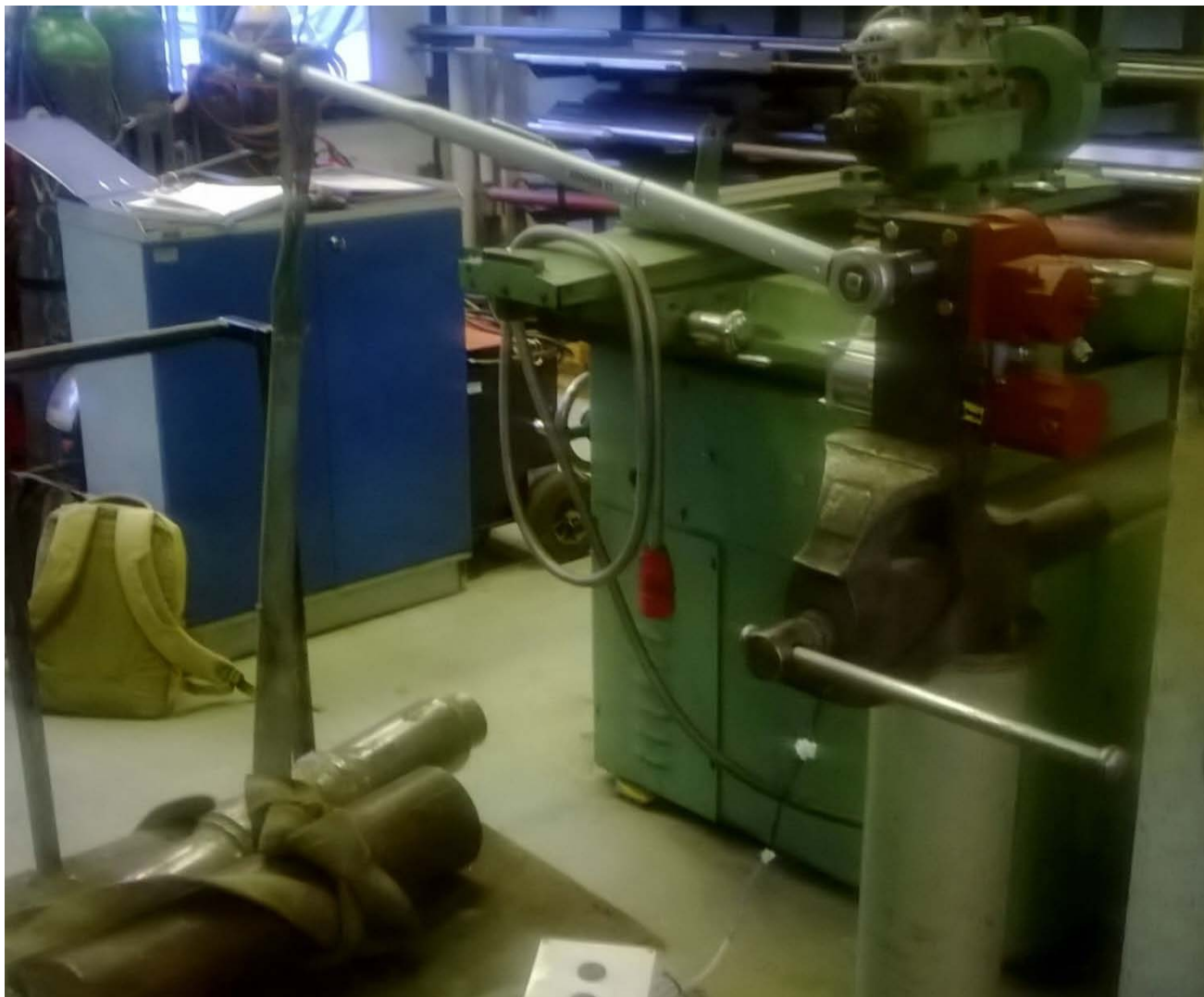
KUVIO 2. Sulkeutumisaajan mittaukset.

6.2 Väännön mittaaminen momenttiavaimella

Karkea arvo prototyypin tuottamalle väännölle saatiin käyttämällä momenttiavainta, johon oli koneistettu sopiva adapteri. Prototyyppi liitettiin toimilaitteeseen ja molemmat kiinnitettiin tukevasti ruuvi-penkkiin mittausta varten plasmaleikatulla 10 mm teräslevyllä, johon porattiin pultteille kiinnitysreiät.

Mittaustavan ideana oli, että momenttiavaimella tehdään monta mittausta ja säädetään avaimen raja-arvoa niin kauan, ettei avain enää napsahda. Aluksi mittaaminen suoritettiin painottamalla momenttiavainta ihmisvoimin alaspäin samalla kun kytkimestä käytettiin laitetta vääntämään avainta vastaan. Tämän mittaustavan ongelma oli se, että ihminen kohdisti ylimääräistä voimaa momenttiavaimen. Ongelma ratkaistiin kiinnittämällä momenttiavain nostoliinan avulla lattialla oleviin painaviin teräsakselihin. Mittaukset suoritettiin vääntämällä kumpaankin suuntaan. Mittauksissa käytettävät painearvot saatiin painemittareista.

Myötäpäivään väännettäessä 130 bar:n paineella tulokseksi saatiin 455 Nm ja vastapäivään väännettäessä 145 bar:n paineella tulokseksi saatiin 473 Nm. Nämä tulokset ovat vain suuntaa antavia ja ne on mitattu laitteen jo vääntäessä, jolloin liikettä vastusti liikekitka, joka on liikkelle lähtöä hidastavaa lepokitkaa pienempi. Kokeessa käytetyt painemittarit antavat vain karkeat painearvot mittarin huonon tarkkuuden vuoksi. Saatua karkeaa arvoa tarvittiin suunniteltaessa venymäliuskamittauksen akselia. Kuvassa 2 on esitetty momenttiavaimella tapahtuva mittaustilanne.



KUVA 2. Väännön mittaaminen momenttiavaimella (Valokuva Eero Ukkonen.)

6.3 Väännön mittaaminen venymäliuskoilla

Prototyypin tuottama vääntö mitattiin myös venymäliuskamittauksella, joka antoi tarkemman ja luotettavamman tuloksen kuin edellinen mittaustapa.

6.3.1 Venymäliuska-anturit

Venymäliuska-anturit ovat voima-antureita, joita käytetään staattisten ja dynaamisten kuormien määrittämiseen. Venymäliuskamittaus perustuu materiaaliin liimatun sensorin eli venymäliuskan elastisesta muodonmuutoksesta johtuvaan resistanssin muutokseen. Sensorin materiaali voi olla metallikalvo, metallilanka tai puolijohde. Liuskat soveltuvat moniin eri käyttötarkoituksiin ja lämpötiloihin. Yleisesti on saatavilla -200 - +200 celcius asteeseen sopivia liuskoja, mutta on olemassa myös 800 celcius asteen kestäviä venymäliuskoja. Liuskoja voidaan sijoittaa melkein mihin tahansa tutkitavan kappaleen kohtaan, jossa tapahtuu muodonmuutosta. Anturoinnissa käytetään yleensä silta-kytkentää, joka kompensoi pois lämpötilan vaihtelun ja erisuuntaiset voimat, joita ei tutkita. Venymäliuskat kiinnitetään tutkittavaan kohteeseen liimaamalla joko syanoakrylaattiliimoilla tai liuskojen pitkäaikaisempaan käyttöön tarkoitetuilla kaksikomponenttiliimoilla. Liuskojen suojaamisessa tulee ottaa huomioon käyttöympäristö. Tavallisesti venymäliuskat suojataan suojalakalla. (Metalliteollisuuden Kustannus Oy 1986, 58–60.)

6.3.2 Venymäliuskamittauksen valmistelu

Venymäliuskamittaus päätettiin suorittaa liimaamalla venymäliuskat kiinni toimilaitteen vääntämään akseliin. Väännettävä akseli on kiinnitettävissä toisesta päästä toimilaitteeseen ja toisesta päästä kehikkoon, joka on pultattu kiinni toimilaitteeseen.

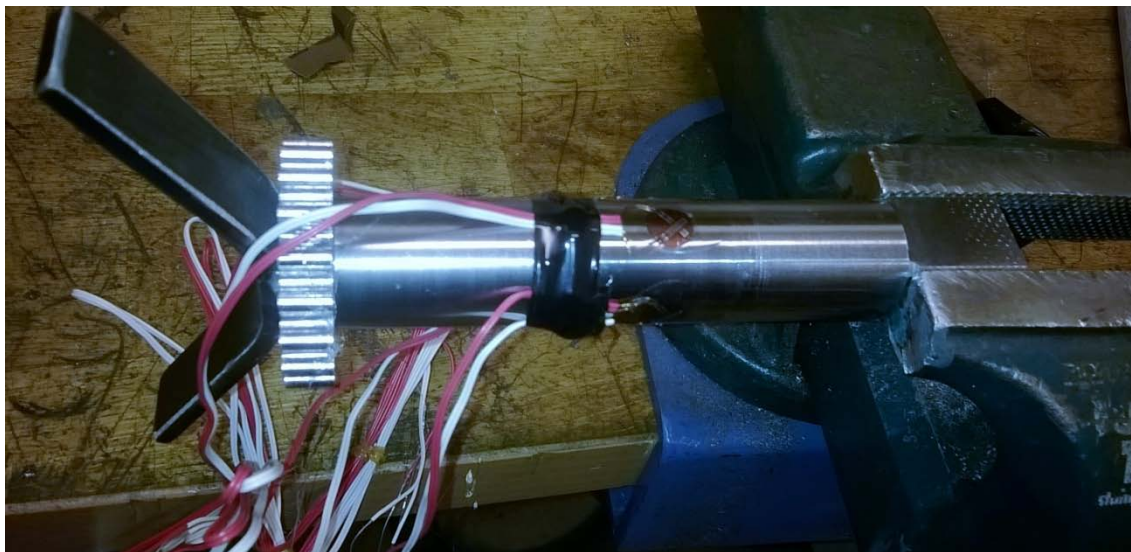
Väännettävä akseli suunniteltiin käyttämällä Solidworks 2013 –mallinnusohjelmaa sekä ANSYS Workbench –ohjelmaa. Solidworks:llä mallinnettiin akseli, joka siirrettiin ANSYS:een. ANSYS Workbench on lujuuslaskelmiin käytetty ohjelma, jossa voi tarkastella 3D-mallinnettuja kappaleita. ANSYS:ssä määritettiin akselille venymäliuskamittauksia varten sopiva halkaisija. Liian suuri halkaisija olisi ollut jäykkä venymään ja liian pieni halkaisija ei olisi kestänyt syntyvää vääntöä. Sopivaksi halkaisijaksi määritettiin 29 mm. Akseli on koneistettu kappale, jonka päähän hitsattiin kahva. Kehikon kiinnitystä varten akseliin suunniteltiin ja koneistettiin hammastus. Hammastuksen tarkoitus oli akselin asentaminen kehikkoon eri mittauskulmia varten, jolloin saatiin selville väännön suuruuden lineaarisuus.

Akselille tehty kehikko valmistettiin hitsaamalla kaksi koneistettua 10 mm plasmaleikattua levyä kiinni putkipalkkiin. Toisessa päätylevyssä on reikä akselin toimilaitteeseen kiinnittämistä varten ja toisessa päätylevyssä akselin hammastukseen sopiva reikä. Päätylevyihin leikattiin plasmaleikkurilla myös reiät pulteille ja palkkiin porattiin reikä akselista lähteviä venymäantureiden johtoja varten. Kuvassa 3 akseli on paikallaan kehikossa.



KUVA 3. Väännettävä akseli kehikossa (Valokuva Eero Ukkonen.)

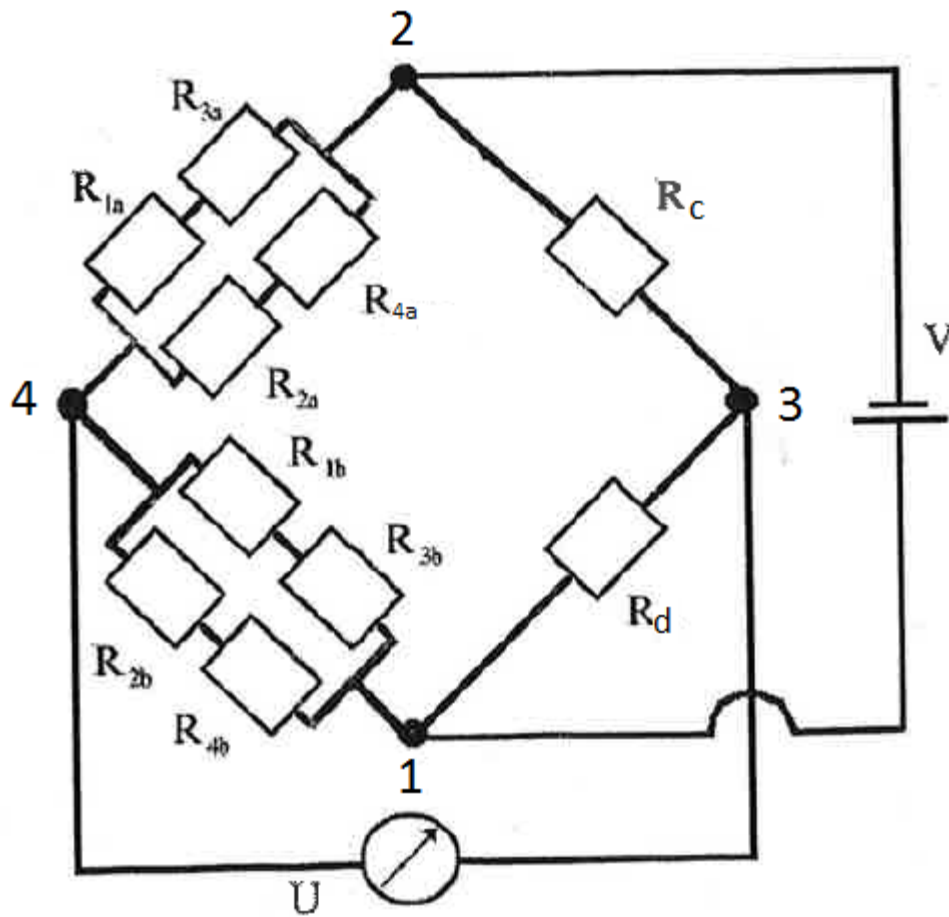
Venymäliuskojen liimaaminen akseliin aloitettiin kiinnittämällä akseli kuvan 4 mukaisesti ruuvipenkkiin. Seuraavaksi akseli puhdistettiin liasta ja rasvasta, jotta liimaus kestäisi mahdollisimman hyvin. Puhtaaseen akseliin liimattiin neljä kappaletta venymäliuskapareja, joiden päälle levitettiin suojaava lakkakerros. Johdot teipattiin kiinni akseliin ja liimaus jätettiin kovettumaan.



KUVA 4. Venymäliuskojen liimaus akseliin (Valokuva Eero Ukkonen.)

6.3.3 Väännön mittaaminen

Mittaus aloitettiin kytkemällä venymäliuskat mittauslaitteistoon kuvan 5 kytkentäkaavion mukaisesti $\frac{1}{2}$ -siltakytkentänä. Kaaviossa U tarkoittaa jännitemittaria, V jännitelähdettä ja R vastusta. Venymäliuskoja kuvaavat merkinnät ovat R1a, R1b, R2a, R2b, R3a, R3b, R4a ja R4b.



KUVA 5. $\frac{1}{2}$ -siltakytkentä (Björk ja Niemelä 1999, 13.)

Venymän ε lisäksi mitattiin myös paine p paineanturia ja perinteistä painemittaria käyttäen. Mittauksien aluksi tietokoneeseen syötettiin vääntömomentin kaava 1

$$T = 2GW_T * \varepsilon = 2 * \frac{E}{2(1+\nu)} * \frac{\pi D^3}{16} * \varepsilon, \quad (1)$$

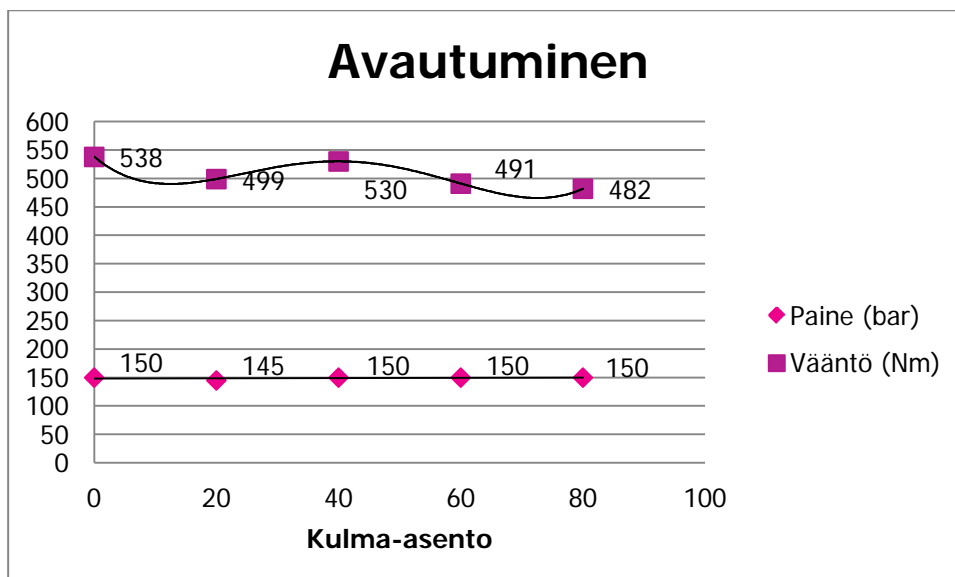
jossa G on liukumoduuli, W_T on vääntövastus, E on käytetyn materiaalin kimmokerroin, D on akselin halkaisija ja ν on poissonin vakio. Alkuvalmistelujen jälkeen tietokoneohjelma käynnistettiin ja akselia väännettiin toimilaitteella viidessä eri kulmassa molempiin suuntiin kuvan 6 mukaisesti. Avautumissuuntaan väännettäessä paineen arvot otettiin ylös painemittarista, joka ei ole yhtä tarkka, kuin sulkeutumissuuntaan väännettäessä käytetty paineanturi.



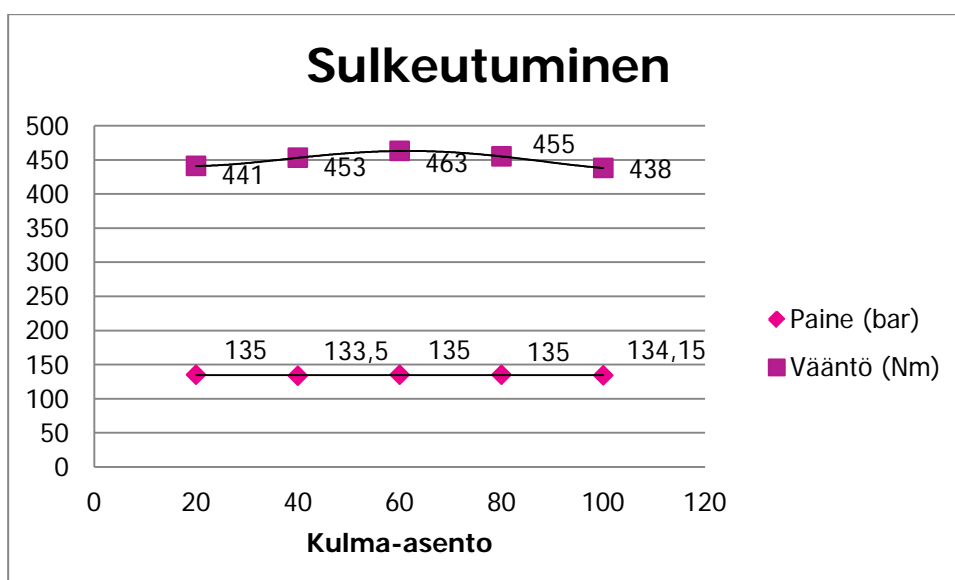
KUVA 6. Venymäliuska mittaus (Valokuva Eero Ukkonen.)

6.3.4 Venymäliuskamittauksen tulokset

Tietokoneelta saatiin liitteinä 1, 2 ja 3 olevat mittaustulokset, joissa käyrien piikit kuvavaavat mittaustuloksia. Avautumissuuntaan väännettyjen mittausten kuvaaja on esitetty liitteessä 1. Kuvaajassa nähdään seitsemän piikkiä, joista ensimmäinen ja viides tulee jättää huomioimatta. Ensimmäinen piikki syntyi vahingossa mittauksia aloitettaessa ja viides piikki syntyi, kun mittaus suoritettiin käyttämällä samaa kulmaa kuin neljännessä mittauksessa. Liitteessä 2 on kuvattu sulkeutumissuuntaan tehdyt mittaukset, jossa kolmas ja neljäs piikki ovat peräisin samasta mittauskulmasta. Molempien suuntien mittaustilanteet on esitetty yhdessä kuvaajassa liitteessä 3. Näiden alkuperäisten tietojen pohjalta tehtiin kahdet erilaiset kuvaajat. Kuvioista 3 ja 4 nähdään paineen ja väännön vaihtelu kulma-asennosta riippuen.



KUVIO 3. Paineen ja väännön arvot avautuessa.

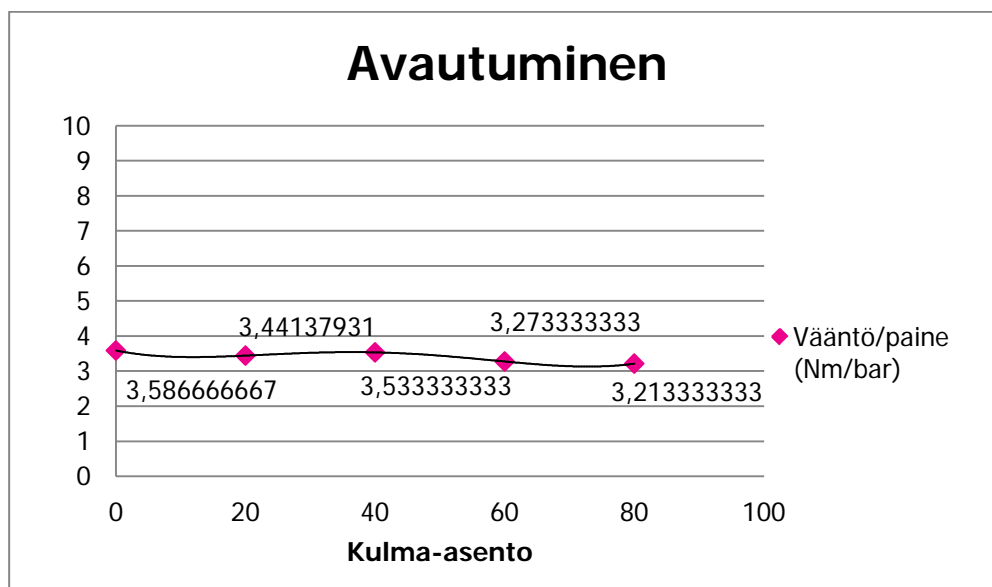


KUVIO 4. Paineen ja väännön arvot sulkeutuessa.

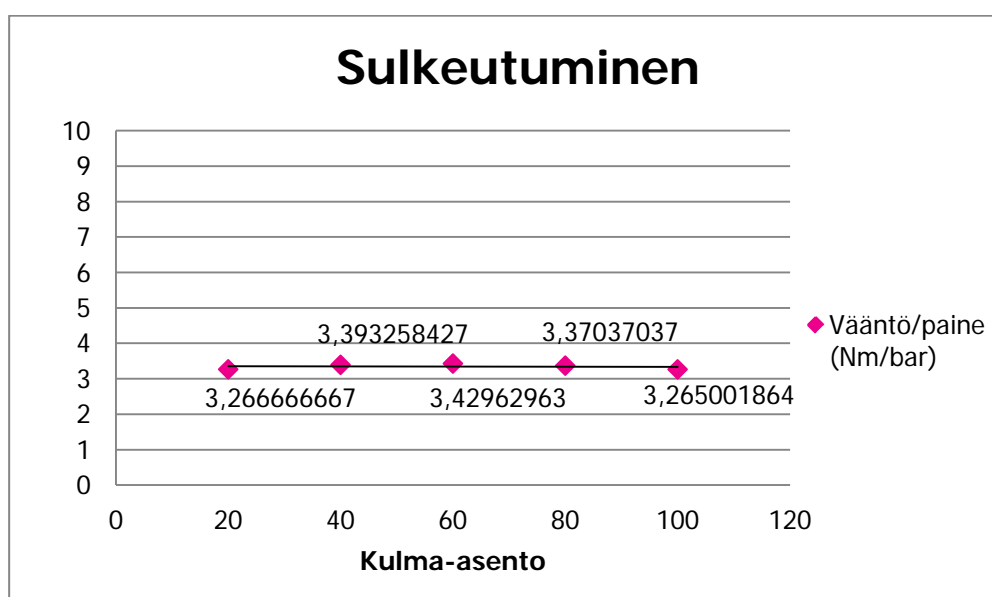
Avautumisen keskimääräiseksi väännöksi saatiin 498 Nm n. 150 bar:n paineella. Sulkeutumisen keskimääräiseksi väännöksi saatiin 450 Nm n. 135 bar:n paineella. Mittaustulosten paikkaansapitävyyttä tukivat momenttiavaimella tehdyt karkeat mittaukset, joista saadut arvot olivat yhtenevät venymäliuskamittausten tulosten kanssa. Saadut väännön arvot ovat tarvittavan suuria, joten valittujen sähkömoottorin ja hydraulikkapumpun avulla saavutetaan tarpeeksi suuri vääntö käyttötarkoitukseen nähden.

Kuvioissa 5 ja 6 esitetään väännön ja paineen suhteen vaihtelu kulma-asennon mukaan. Nähdään, että molempiin suuntiin väännettäessä väännön ja paineen suhde oli painemittarin epätarkkuus huomioiden yhtä suuri. Lisäksi toimilaitteen mäntään kohdistuva paine ei ollut aivan tasaista. Tämän todistaa paineanturin mittaamien arvojen vaihtelu. Väännön ja paineen suhde pysyi melko vakiona, joten syy vaihtelevalle väännölle oli todennäköisesti prototyyppissä. Öljyn seassa oleva ilma vaikuttaa paineen suuruuden vaihteluun. Kuormattomana toimilaite hieman hyytyy tietyssä kohdassa, mutta

tätä samaa hyytymistä ei ilmennyt yhtä suuressa määrin kuormallisissa mittauksissa. Tämä voi johtua siitä, että kuormattomana kitka ja ilma aiheuttavat yhdessä epätasaisuutta. Epätasaisen väännön voi selittää myös toimilaitteen hammastuksen viallisuus. Hammastuksen viallisuuden pois sulkeumiseksi tutustuttiin hammaspyörrien toimintaan ja suoritettiin tarpeelliset mittaukset.



KUVIO 5. Paineen ja väännön suhde avautuessa.



KUVIO 6. Paineen ja väännön suhde sulkeutuessa.

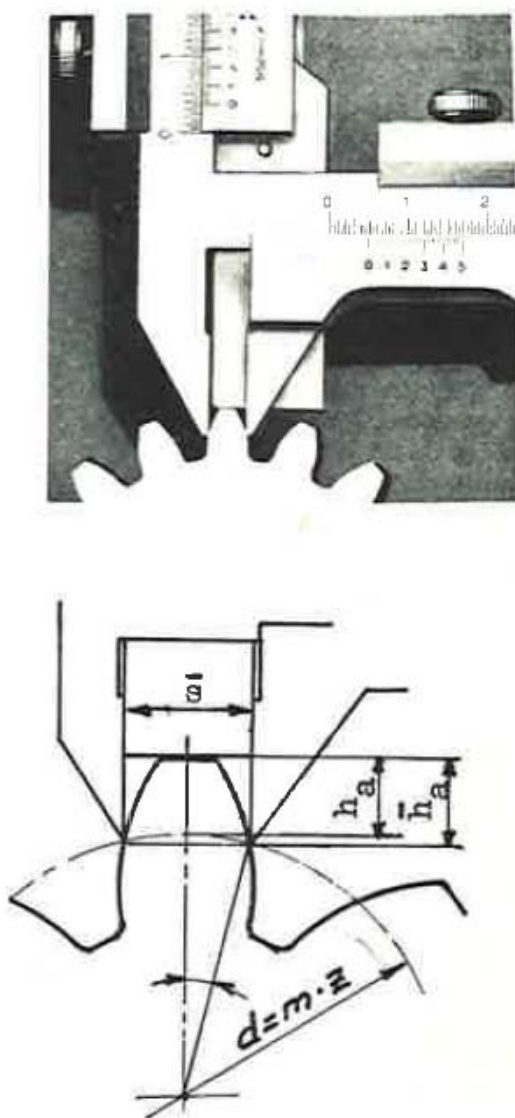
6.4 Hammastus

Prototyypin käyttämässä toimilaitteessa käytetään evolventtihammastusta, jossa hampaat ovat suoria. Evolventtihammastus on Huygensin 1600-luvun lopulla kehittämä profiilimuoto, joka on yleisimmin käytetty hammastuksen muoto. Evolventtihammastuksen etuja ovat valmistuksen helppous, valmistuksessa aiheutuvien virheiden pieni vaikutus toimivuuteen ja hampaiden mittaamisen helppous. (Komulainen 2007, 141.)

Hammaspyörän väännön laskemiseksi mitattiin jakohalkaisija d . Hammaspyörän toiminnan tasaisuuden ehtona on ryntöjakojen yhtäsuuruus (ÖBERG 1978, 79). Tämän vuoksi mitattiin hampaiden paksuuden vaihtelu ja hammasvälimitat. Hammasvälimittojen W yhtenevyyden perusteella saatiin varmistettua ryntöjakojen p_{bn} yhtäsuuruus kaavasta 2

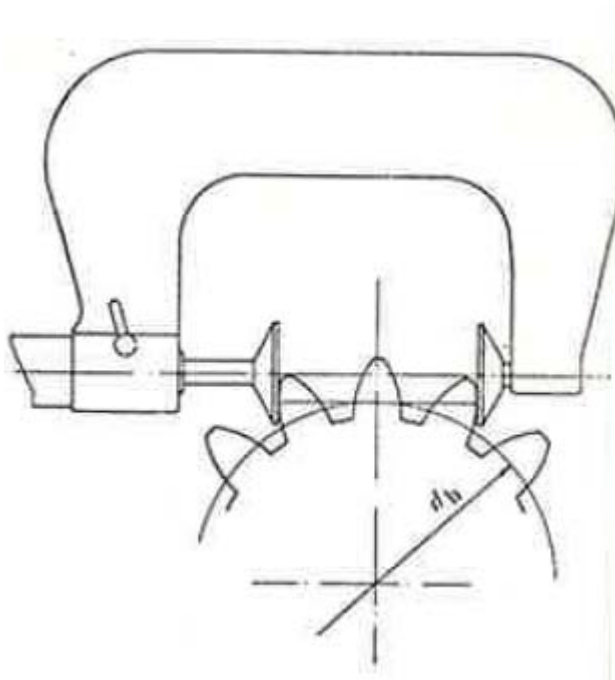
$$p_{bn} = W_1 - W_2. \quad (2)$$

Hammastuksien mittaukset tehtiin hammastyöntömitan ja lautasmikrometrin puuttumisen vuoksi Öbergin teoksen ohjeita soveltaen työntömitalla ja mikrometrillä. Jakohalkaisija mitattiin jokaisen hampaan kohdalta työntömitalla. Hampaiden paksuudet mitattiin kuvan 7 mukaisesti tavallisella työntömitalla ja mittauksen varmistamiseksi myös mikrometrillä.



KUVA 7. Hampaan paksuuden mittaaminen (Öberg 2078, 75.)

Hammasvälimitaus suoritettiin kuvan 8 mukaisesti tavallisella mikrometrillä ja tulokset varmistettiin myös työntömitalla.



KUVA 8. Hammasvälimittaus (Öberg 2078, 76.)

6.5 Hydraulikkalaskelmat

Mittaustulosten paikkaansapitävyyden todistamiseksi laskettiin toimilaitteen teoreettinen maksimi vääntö. Laskenta on karkea ja tarkoitettu vain varmistamaan tarkan mittauksen paikkaansapitävyyden. Laskennassa ei otettu huomioon kitkaan kuluva energiaa. Laitteessa sylinteriin kohdistuu paine P , joka liikuttaa sylinteriä ja muuttaa hydraulisen energian sylinterin hammastuksen avulla mekaaniseksi väännöksi M . Vääntö M saatiin laskettua käyttämällä kaavoja 3 ja 4.

$$P = \frac{F}{A} \rightarrow F = P * A \quad (3)$$

$$M = F * l \quad (4)$$

Kaavoissa A on sylinterin männän pinta-ala, F mäntään kohdistuva voima ja l voiman vipuvarsi eli hampaiden kosketuspintojen säde vääntövästä keskikohdasta. Vääntö laskettiin paineanturista saadulla 135 bar paineella. Männän halkaisija on 50 mm, minkä avulla saatiin laskettua pinta-ala kaavalla 5.

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * (0,050\text{m})^2}{4} = 1,96 * 10^{-3} \text{m}^2 \quad (5)$$

Voimaksi F saadaan

$$F = 135 * 10^5 \text{ Pa} * 1,96 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 26507,19 \text{ N}. \quad (6)$$

d on 43 mm, josta saadaan voiman F avulla väännön M arvoksi

$$M = 26507,19 \text{ N} * \frac{0,043}{2} \text{ m} = 569,90 \text{ Nm.} \quad (7)$$

Mitattaamalla saadut arvot ovat n. 0,79-kertaisia verrattuna laskemalla saatuun häviämättömään vääntöön. Tulos on realistinen ja mittauksia voidaan pitää paikkansapitävinä.

7 PROTOTYYPIN KEHITTÄMINEN

Prototyypin kehittäminen aloitettiin tutkimalla tuotetta ja keskustelemalla työn tilaajan kanssa mahdollisista parannuskohteista. Parannettaviksi kohdiksi sovittiin moottorin kehikko, moottorin johtojen reititys ja tutkimuksissa mahdollisesti löytyvät rakenteelliset viat.

7.1 Keskilohko

Keskilohkoa kehitettiin suunnittelemalla siihen koneistettava laippa moottorin kehikon kiinnitystä varten. Laippa oli alun perin erillinen osa, joten muutoksella saatiin vähennettyä yksi nimike ja säästetään valmistus- ja materiaalikustannuksissa.

Parannuksena tuotteeseen suunniteltiin moottorin johdoille reitti lohkojen lävitse. Prototyypissä oli jo ennestään osa reitin porauksista, mutta nämä olivat halkaisijaltaan vain 6 mm. Reikien halkaisijoita suurennettiin kokoonpanon helpottamiseksi.

7.2 Moottorin kehikko

Moottorin kehikko suunniteltiin toimivammaksi ratkaisuksi. Kehikko tulee koostumaan yhdestä kappaleesta nykyisten kahden sijasta. Näin saatiin sijoitettua kiinnityspultit tuotteen sisälle, toisin kuin alkuperäisessä prototyypissä, jossa pultit kulkivat moottorin kehikon ulkopuolella. Myös kehikon muotoilu tehtiin vastaamaan muuta tuotetta. Tästä kappaleesta tehtiin valmistuspiirustukset, jotka toimitettiin työn tilaajalle.

8 JATKOSUUNNITELMAT

Prototyypin kehittämistä jatketaan Pohjois-Savossa edelleen tämän opinnäytetyön jälkeen. Tavoitteena on löytää tuotteelle sopiva valmistaja ja suunnitella tuotanto toimivaksi.

Tuotekehityksessä seuraava askel on keskilohkon suunnittelu paremmaksi integroimalla siihen nykyisen prototyypin ylälohko. Näin saadaan vähennettyä yksi nimike ja säästetään materiaali- sekä valmistuskustannuksissa. Apuna suunnittelussa käytetään vastaavaa markkinoilla olevaa powerpackiä, jonka ratkaisuihin tutustutaan. Ratkaisut otetaan mahdollisesti käyttöön omassa tuotteessa. Tuotekehityksen aikana tulee varmistaa komponenttien saatavuus ottamalla yhteyttä niiden jälleenmyyjiin tai valmistajiin. Lisäksi on oltava yhteydessä myös moottorien, pumppujen ja materiaalien toimittajiin.

Tuotannon lähtiessä käyntiin keskitytään laskemaan valmistuskustannuksia suunnittelemalla kaksi osaa valmistettavaksi valuaihioista. Näin vältetään turha hukkamateriaali. Suunnitelmissa on myös löytää uusia käyttökohteita minipowerpackille ja saada pohjoissavolainen osaaminen maailmalle.

9 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia S-two GmbH & Co. KG:n uutta minipowerpackin prototyyppejä ja sillä käytettävää toimilaitetta. Tehtävänä oli määrittää prototyypin toimivuus ja suunnitella siihen parannuksia. Tutkittavat asiat päätettiin yhdessä yrityksen edustajan kanssa.

Projektin tuloksena saatiin varmuus kehitetyn prototyypin toiminnasta ja mahdollisuus jatkaa sen kehittämistä valmistettavissa olevaksi tuotteeksi. Toiminnan varmuus saatiin perusteltua tehdyillä mittauksilla, joissa määritettiin toimilaitteen väännön nopeus, suuruus ja tasaisuus. Lisäksi varmistettiin käytettyjen sähkömoottorin ja hydraulipumpun soveltuvuus käyttötarkoitukseen. Kehitettyjä asioita ovat keskilohkon laipan suunnitteleminen, porauksien parantaminen ja siihen liittyvien muiden muutosten tekeminen sekä moottorin kehikon uudelleen suunnitteleminen.

Työn teki haastavaksi sen laajuus ja monipuolisuus. Opinnäytetyön tekijällä oli kokemusta hydraulikasta vain yhden kurssin verran, joten asiaan perehtyminen vei oman aikansa. Venymäliuska-anturit olivat myös opiskelijalle täysin uusi asia, johon saatiin apua kokeneelta Savonian opettajalta. Vaikka työ oli haastava, oli se myös ammatillisesti avartava ja mielenkiintoinen.

Saksalaisen yrityksen kanssa työskentely on ollut välimatkan vuoksi hankalaa mutta palkitsevaa. Yhteydenpito hoidettiin pääsääntöisesti sähköpostitse, mutta kolmesti oli mahdollista keskustella kasvotusten. Asiakkaalta on tullut vain positiivista palautetta, ja se on ollut tyytyväinen tehtyyn työhön. Tulevaisuudessa yhteistyö yhtiön kanssa on hyvin todennäköistä.

Työtä oli ajan puutteen vuoksi rajattava toimivuuden tutkimiseen ja tuotekehityksestä mukaan otettiin vain muutama asia. Muu tuotekehitykseen liittyvä prototyypin parantaminen päätettiin tehdä tämän opinnäytetyön ulkopuolella.

10 LÄHTEET

BJÖRK, Timo ja NIEMELÄ, Kriste 1999. VASTUSVENYMÄLIUSKAMITTAUKSET – VOIMASUUREIDEN MITTAUS 19 – 20.10.1999. Lappeenranta: LTKK: Koulutus ja kehittämiskeskus.

HIETIKKO, Esa. 2008. Tuotekehitystoiminta. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulun kuntayhtymä.

LEINONEN, Tatu E. 1975. Kone-elimet. Julkaisussa: KONETTINEN, Uolevi, LESKINEN, Juhani ja Ryti, Henrik (toim.) Tekniikan käsikirja 7. Jyväskylä: Gummerus.

METALLITEOLLISUUDEN KUSTANNUS OY 1986. Anturit koneautomaatiossa. Metalliteollisuuden Kustannus Oy.

S-two GmbH & Co. KG. 2014a POSEIDON - The multifunctional and truly pioneering ship control system. [Viitattu 2014-04-06.]

Saatavissa: http://www.roethe.de/fileadmin/pdf/S-two_Imagebroschuere_ENGL_Web_Komplett.pdf

S-TWO GmbH & Co. KG. 2014b. Yrityksen www-sivu. [Viitattu 2014-04-06.]

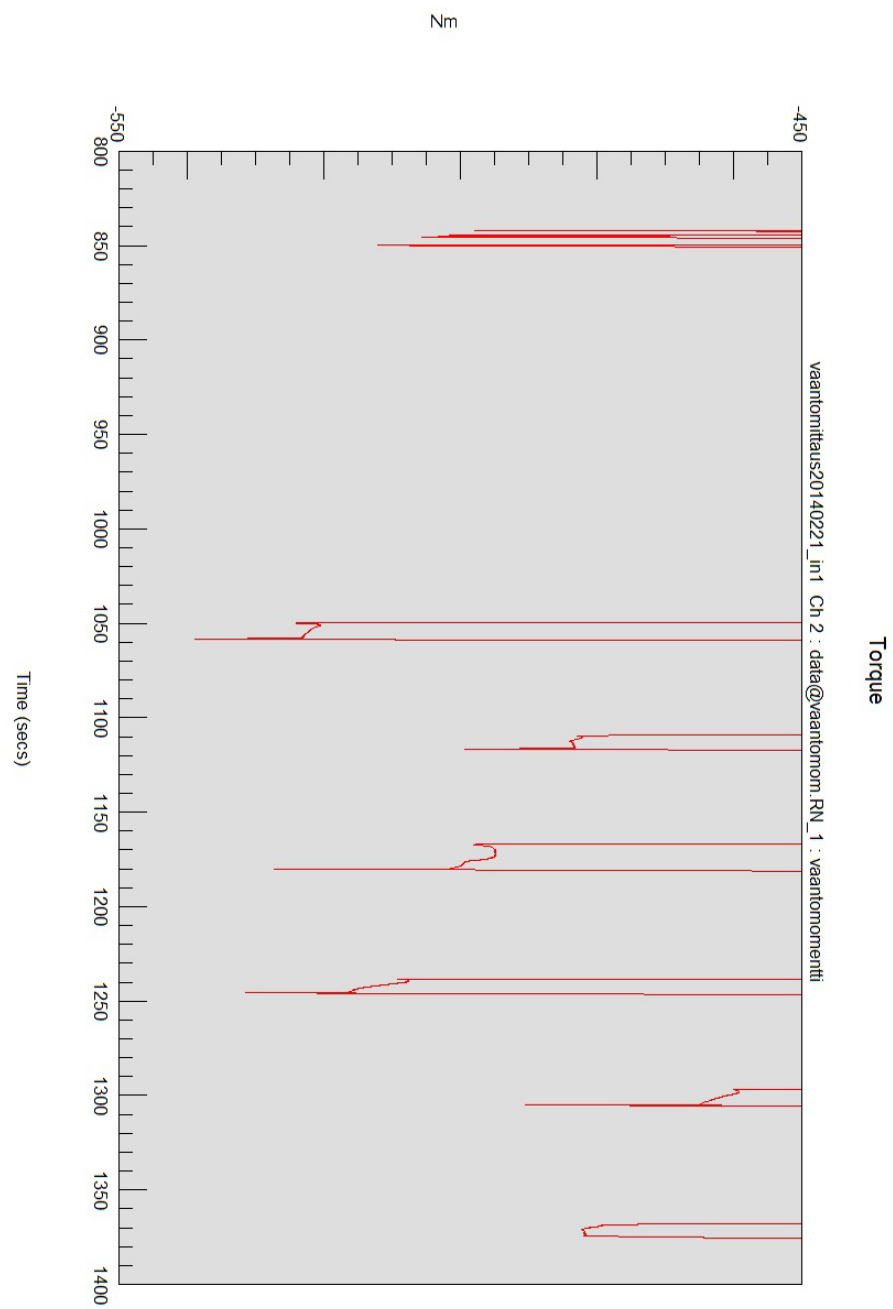
Saatavissa: www.s-two.de/en

TIILIKKA, Pentti. 2008. Alumiinimetallit. Julkaisussa: KOIVISTO, Kaarlo, LAITINEN, Esko, NIINIMÄKI, Matti, TIAINEN, Tuomo, TIILIKKA, Pentti ja TUOMIKOSKI, Juho (toim.) Konetekniikan materiaalioppi. Helsinki: Edita Prima Oy.

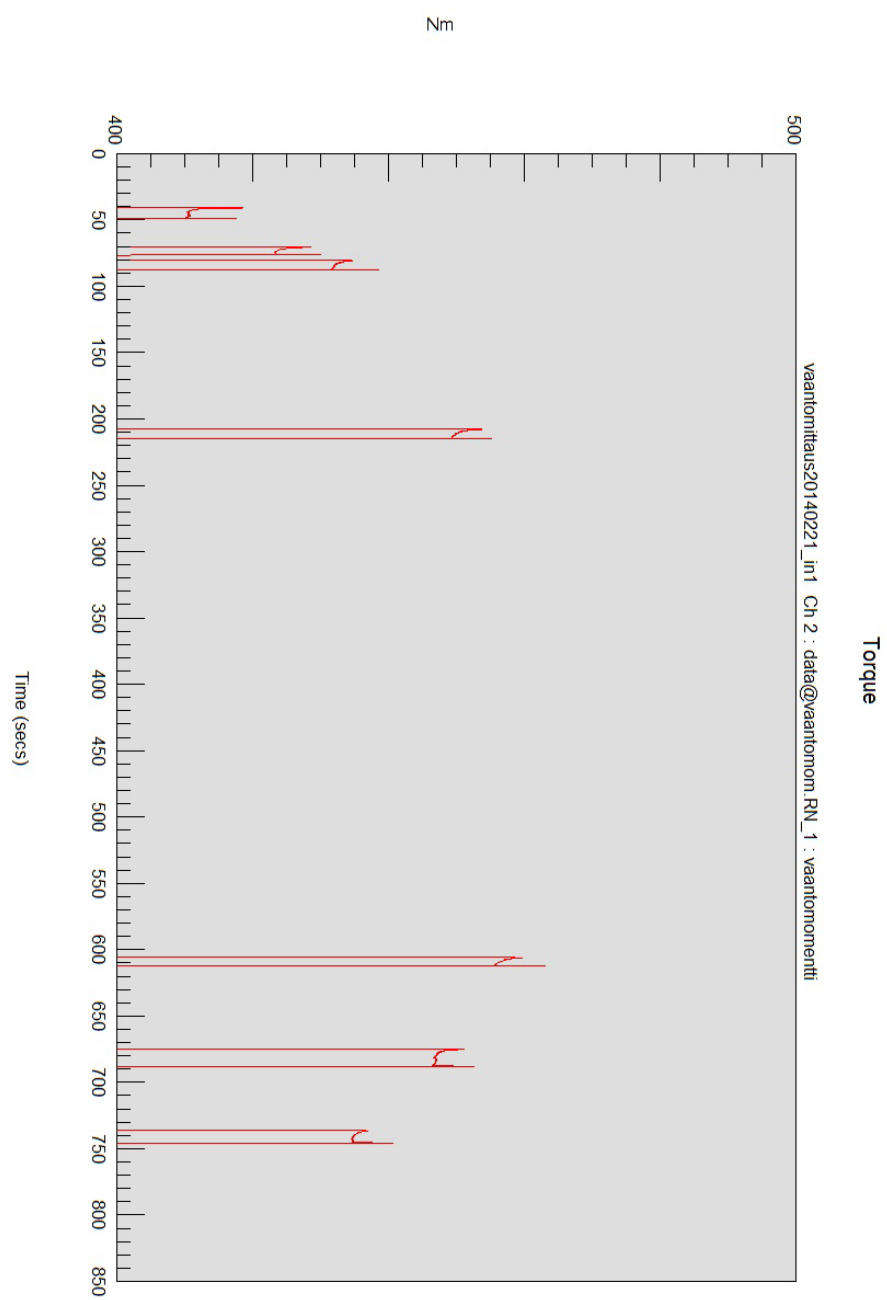
WEHMEIER, Carla 2014-04-06. Toimitusjohtaja. [sähköpostiviesti.] S-two GmbH & Co. KG.

ÖBERG, Raimo U. 1978. Konepajateknilliset mittaukset. Turku: Tehomoniste.

LIITE 1: MITTAUKSET AVAUTUMISSUUNTAAN VÄÄNNETTÄESSÄ



LIITE 2: MITTAUKSET SULKEUTUMISSUUNTAAN VÄÄNNETTÄESSÄ



LIITE 3: MOLEMPIEN SUUNTIEN MITTAUSTILANTEET

